玉米磷肥需要量診斷研究[1]

Diagnostic Criteria for Phosphorus Needs for Corn

李子純、張愛華[2]

中文摘要

本研究分別於75及76年同時進行溫室及田間試驗，目的在於探討不同質地土壤之磷素肥力特性及磷肥需要性之差異，並寄望能以田間試驗求得石灰質土壤之需磷診斷標準。

田間試驗：75年秋作於本省中南部及本所農場共十處進行，試驗田土壤除了兩個對照點外，其餘為石灰質土壤，分為三種 P 肥等級 (0, 60, 120Kg P_2O_5/ha)，四重複，依逢機區集法排列，種植玉米，目的為探討石灰質土壤之玉米需磷診斷標準。76年秋作則選中、南部質地不同之土壤，有效 P 含量儘可能包括高、中及低三種進行田間試驗，五種 P 肥等級 (0, 50, 100, 200, 400Kg P_2O_5/ha)，重複數及試驗設計同75年秋作。

溫室試驗：75年秋採用中南部及本所農場，質地為 SL, SiL, CL，含磷量由低至高五處土壤，76年秋則採自76年田間試驗地點土壤之表土，共六種土壤，於本所溫室進行盆栽試驗，六種 P 肥處理 (0, 20, 40, 80, 160, 320ppm P)，五重複，種植玉米，發芽後約30～45日收割，記錄產量，分析磷含量，計算磷吸收量。

茲將上述試驗所得結果摘要於下：

1. 溫室試驗顯示，土壤中 Bray P 測值與玉米磷吸收量呈顯著正相關關係 (r=0.650*)
2. 溫室試驗中玉米收量百分率及磷吸收量分別與土壤有機質含量呈顯著之正相關關係 (r 值分別為0.699*及0.731*)。
3. 溫室磷肥效應試驗顯示，土壤中有效性磷雖然高，仍然有增產效果，並且砂粒的含量高時，其 P 肥效果較高。
4. 田間試驗75年秋作之土壤有機質含量與 P adsorption maxima 有顯著的正相關關係 (r=0.697*)，此外土壤中粘粒含量及游離鐵含量與其 P adsorption maxima 亦呈極顯著的正相關關係 (r 值分別是0.877**及0.859**)。
5. 田間試驗田土壤中有效 P 含量與無磷區玉米產量百分率間無顯著相關關係。新由水田轉作的農田有效磷測值高者仍需施用磷肥。
6. 同屬中質地土壤，雖然有效磷含量相近，但砂粒含量高的土壤磷肥效果較大，故欲判斷磷肥需要量時，必需同時考慮土壤砂粒含量。

中英文關鍵字

玉米 (corn)、磷肥需要 (phosphorus needs)

1. 本計畫承農業委員會補助，謹此致謝。

2. 臺灣省農業試驗所故前研究員，助理研究員。

前　言

過去試驗發現本省石灰質農田，由於長年施用磷肥，其有效磷含量已普遍偏高，而盆栽試驗結果在 Olsen P 含量達 50ppm 時，仍能使玉米及高粱增產10%[1]，按國外資料[7]，一般石灰質土壤 Olsen P 含量在 10～15ppm 時施磷已多無增產效果，上述試驗結果似乎無法應用該標準。根據過去研究資料，影響土壤磷素對作物有效性的因素雖多，最大因素仍為土壤中 $CaCO_3$ 含量及土壤質地。

石灰質土壤中作物需磷量較高；不同質地土壤其對磷的吸著力，緩衝能量及磷在土壤中的擴散係數等特性均不相同，此等土壤上作物的磷肥需要量也必不相同，本研究的目的即在於探討不同質地土壤之磷素肥力特性及磷肥需要性之差異，同時亦寄望能以田間試驗求得石灰質土壤之需磷診斷標準。

本研究分為兩部分進行

I、石灰質土壤需磷診斷

一、材料與方法

(一) 試驗地點及土壤性質：

本試驗於75年秋作在本省中南部及本所農場共十處進行。表1為試驗地點及各試驗點所屬土類、土系。其中除了1及8號兩處為非石灰性之對照點外，其餘八處為石灰質土壤。各試區之質地均屬中質地，土壤性質列於表2。

表 1. 試驗田地點及所屬土壤（75年秋作）

編號	地　點	農戶姓名	所　屬　土　類	土　系
1	臺中霧峰	農試所農場	砂頁岩粘板岩混合沖積土	TTy 東員寶系
2	嘉義六腳	蕭明正	砂頁岩石灰性新沖積土	Cf 將軍系
3	嘉義六腳	吳海水	砂頁岩石灰性新沖積土	Ch 佳里系
4	嘉義東石	李政雄	砂頁岩石灰性新沖積土	Ma 麻豆系
5	嘉義義竹	翁溪忠	砂頁岩石灰性新沖積土	Lf 六分寮
6	嘉義義竹	黃茂祥	砂頁岩石灰性新沖積土	Lf 六分寮
7	臺南學甲	陳得利	砂頁岩石灰性新沖積土	Sn 紹安厝系
8	臺南學甲	陳清景	砂頁岩非石灰性沖積土	Je 仁德系
9	臺南佳里	張　乳	砂頁岩石灰性新沖積土	Cf 將軍系
10	臺南佳里	許良吉	砂頁岩石灰性新沖積土	An 岸內系

(二) 試驗處理：

分為三種磷肥等級，即：

1. P_0：僅施 N (200kg N/ha) 及 K (80kg K_2O/ha)。
2. P_1：除 N、K 外，加施磷肥 60kg P_2O_5/ha。

3. P_2：除 N、K 外，加施磷肥 120kg P_2O_5/ha。

(三) 試驗設計：

逢機完全區集設計，四重複，行株距為 70×25cm，每小區11行，小區面積 38.5m² (7.7×5m)。

(四) 分析及記錄項目：

1. 土壤一般性質分析：包括土壤 pH，有機質，CEC，交換性 K, Ca, Mg ，有效性 P、K 及機械組成分等。
2. 有效磷測定：僅用 Bray-P1 及 Olsen 法二種。
3. 磷吸附等溫線 (P sorption isotherm) 的測定：

   採略予修正的 Barrow 氏法[5]。方法為以 5.0gm 土壤加 50ml 含不同磷濃度 (0，0.75，1.5，2.25，3.0，6.0，9.0及 12ppm P in 0.01M $CaCl_2$) 的KH_2PO_4溶液，搖動16小時後，離心，過濾，取濾液測定其中殘留 P 之濃度，並計算土壤吸著的磷，繪成 P sorption isotherm 圖。
4. 田間玉米產量記錄：

   收穫時記錄玉米穗及稈之鮮重及乾重，玉米經脫粒後並測定此時之水分含量，換算為13%水分含量時之產量 (Kg/ha)。

二、結果與討論

(一) 土壤成份：

表 2. 試驗田土壤性質 (75年秋作)

Soil No.	Soil Dept	PH	%	CEC	Exchangeable Ca (me/100g)	Exchangeable Mg (me/100g)	Exchangeable K (me/100g)	$CaCO_3$ %	Available P. K Bray (ppm)	Available P. K Olsen (ppm)	Available P. K Mehlich (ppm)	Free Fe %	% Sand	% Clay	% Silt	Texture
1	A	5.8	1.89	7.24	4.50	1.31	0.417	0.591	19	29	105	0.57	25.5	22.4	52.1	SiL
	B	5.7	1.68	7.17	4.20	1.22	0.338	0.118	14	22	88	0.57	28.6	20.5	50.9	SiL
2	A	7.5	1.46	6.89	5.63	2.51	0.312	0.827	18	18	83	0.44	40.5	15.4	44.1	L
	B	7.9	1.27	6.75	6.68	2.63	0.143	0.886	14	15	36	0.46	42.6	14.5	42.9	L
3	A	7.0	2.01	9.04	6.56	3.46	0.455	1.535	4	9	109	0.69	11.8	24.0	64.2	SiL
	B	8.3	1.32	7.45	12.13	5.07	0.304	2.716	1	4	66	0.45	14.6	24.5	60.9	SiL
4	A	7.6	1.42	8.79	7.94	2.79	0.143	1.240	4	8	33	0.40	25.8	20.0	54.2	SiL
	B	7.8	1.30	8.34	8.75	2.92	0.123	1.181	3	6	27	0.49	26.6	18.5	54.9	SiL
5	A	7.2	2.25	10.13	8.31	2.92	0.261	0.945	15	23	61	0.56	25.8	19.0	55.2	SiL
	B	7.2	2.19	10.23	8.25	2.80	0.261	1.004	15	24	60	0.51	26.6	16.5	56.9	SiL
6	A	8.0	1.81	7.89	12.75	3.42	0.123	1.653	3	8	30	0.55	29.8	15.0	55.2	SiL
	B	8.1	1.29	7.53	15.88	3.15	0.092	2.244	1	4	18	0.35	28.6	14.5	56.9	SiL
7	A	7.7	2.03	8.03	10.00	3.54	0.297	1.476	43	66	78	0.49	15.8	18.0	66.2	SiL
	B	7.9	1.75	8.25	12.13	3.87	0.207	1.653	37	57	50	0.24	18.6	15.5	65.9	SiL
8	A	6.4	1.94	9.10	6.30	2.47	0.312	0.827	22	24	83	0.43	21.8	17.0	61.2	SiL
	B	7.6	1.49	7.67	7.63	2.86	0.318	1.181	5	9	36	0.42	21.6	14.5	63.9	SiL
9	A	7.7	2.06	9.83	12.25	4.28	0.560	1.890	18	24	133	0.47	18.8	19.0	62.2	SiL
	B	7.9	2.01	9.34	12.50	3.99	0.189	1.653	15	20	46	0.51	20.6	18.5	60.9	SiL
10	A	7.7	2.71	12.67	14.25	4.07	0.361	1.949	16	47	84	1.18	14.8	27.0	58.2	SiL
	B	7.8	2.69	13.78	14.63	4.11	0.355	1.831	17	48	86	1.26	18.6	24.5	56.9	SiL

表 3. 試驗田土壤磷特性

Soil		Available P			P adsorptipn maxima mg P205/100g
NO.	Dept	Olsen	Bray P-1 ppm	0.01M CaC12	
1	A	29	19	0.02	299
	B	22	14	0.015	218
2	A	18	18	0.06	172
	B	15	14	0.025	172
3	A	9	4	0.01	289
	B	4	1	0	178
4	A	8	4	0.01	268
	B	6	3	0.01	218
5	A	23	15	0.03	283
	B	24	15	0.02	234
6	A	8	3	0.01	246
	B	4	1	0.01	206
7	A	66	43	0.12	224
	B	57	37	0.12	218
8	A	24	22	0.06	222
	B	9	5	0	166
9	A	24	18	0.065	218
	B	20	15	0.045	262
10	A	47	16	0.045	392
	B	48	17	0.045	441

（二）各試區玉米產量及無磷區產量指數（表4）。

10個試區無磷區玉米產量平均為 6153Kg/ha，施用 120kg P_2O_5/ha 的 P_2 處理之平均產量為 6456Kg/ha 。增產量平均為5％。2及5兩處試區之產量百分率超過100。即全無磷肥效果，磷肥增產量達10％以上者僅4號試區一處。

差異分析結果顯示第3，4，7和9試區之處理有顯著差異（F 值各別為12.0021**，4.7308*，7.5838*和9.4126**），其餘皆無差異，其中2，5和6試區為轉作兩年以上之農田，1，8試區則為非石灰性土壤，且有效性 P 含量皆相當於連氏[2]所定有效 P 之臨界值。10試區雖然有明顯的磷肥效果，可能田間試驗誤差大，無法得到顯著的差異。

表 4. 各試區玉米產量 (kg/ha) (75年秋作)

編 號	P0	P1	P2	P0/Pmax. ×100
1	3,997	4,185	4,239	94.29
2	7,169	6,974	7,133	100.50
3	5,675 c*	6,163 a	6,044 b	92.08
4	5,659 b	6,367 ab	6,658 a	85.00
5	7,277	7,156	7,226	100.71
6	6,731	6,858	6,658	98.15
7	5,460 b	5,804 a	5,766 a	94.07
8	6,869	7,061	7,158	95.96
9	7,039 b	7,553 a	7,489 a	93.19
10	5,653	6,081	6,188	91.35

*鄧肯氏多變域分析，英文字母相同者在 5 %水準不顯著。

(三) 土壤有效磷含量與磷肥效果的關係：

表 3 為各試區土壤含磷狀況比較，十個試區表土中，Olsen P 的含量在 8 至 66ppm 之間；Bray P 的含量則在 3 至43ppm 之間。底土含磷量均顯著低於表土。0.01M $CaCl_2$ 抽取 P 濃度 (P intensity) 則除了 7 號土壤在 0.1ppm 以上外，其他九處均低於 0.1ppm。P adsorption maxima 以10號土最高 (392mg P_2O_5/100g soil)，2 號土最低。10號土所含的 $CaCO_3$ 也係十個土壤中最高者 (表 2)。土壤磷 Adsorpion maxima 與土壤中之有機質之關係已達 5 %的顯著 (r=0.6972*)，而與粘土及游離鐵含量之間的關係亦達 1 %之顯著 (r 個別為0.8771**及0.8588**)。

圖 1 為土壤有效磷含量與無磷區玉米產量百分率之關係，兩者關係極差，若將其中已轉作旱作兩年以上之 2，5 及 6 號土壤拼除不計算，則二者間之關係即有所改進，但仍未達到 5 %顯著水準。此圖顯示新由水田轉為旱田之土壤，磷肥需要量的確較高，且其臨界濃度也無法以此二有效磷抽出法值測決定。

(四) 土壤之磷等溫吸附 (P sorption isotherm) 及質地與玉米磷肥需要量的關係：

作物係由土壤溶液中吸收所需的磷，故土壤中磷之濃度直接影響作物對磷之吸收，而土壤的緩衝能量亦反射土壤溶液中 P 的濃度之再補充與維持能力。測定土壤的 P sorption isotherm 可同時得知土壤中有效 P 的容量 (Quantity) 及濃度 (Intensity) 因子。土壤磷肥需要量可以土壤溶液中 (0.01M $CaCl_2$ 溶液) 磷濃度達一定標準時，土壤固定的磷量作為指標[9]。雖然此種 P 的濃度標準因作物種類及生長期不同而有所差異，但多數研究者建議以 0.2ppm P 較適合，尤以玉米為然[9]。

本節前段中資料顯示玉米磷肥需要量與土壤 Olsen P 或 Bray P 含量均無顯著相關關係，為探討玉米磷肥需要量的較佳估計方法，將十種土壤的 P sorption isotherm 測得並繪於圖 2。

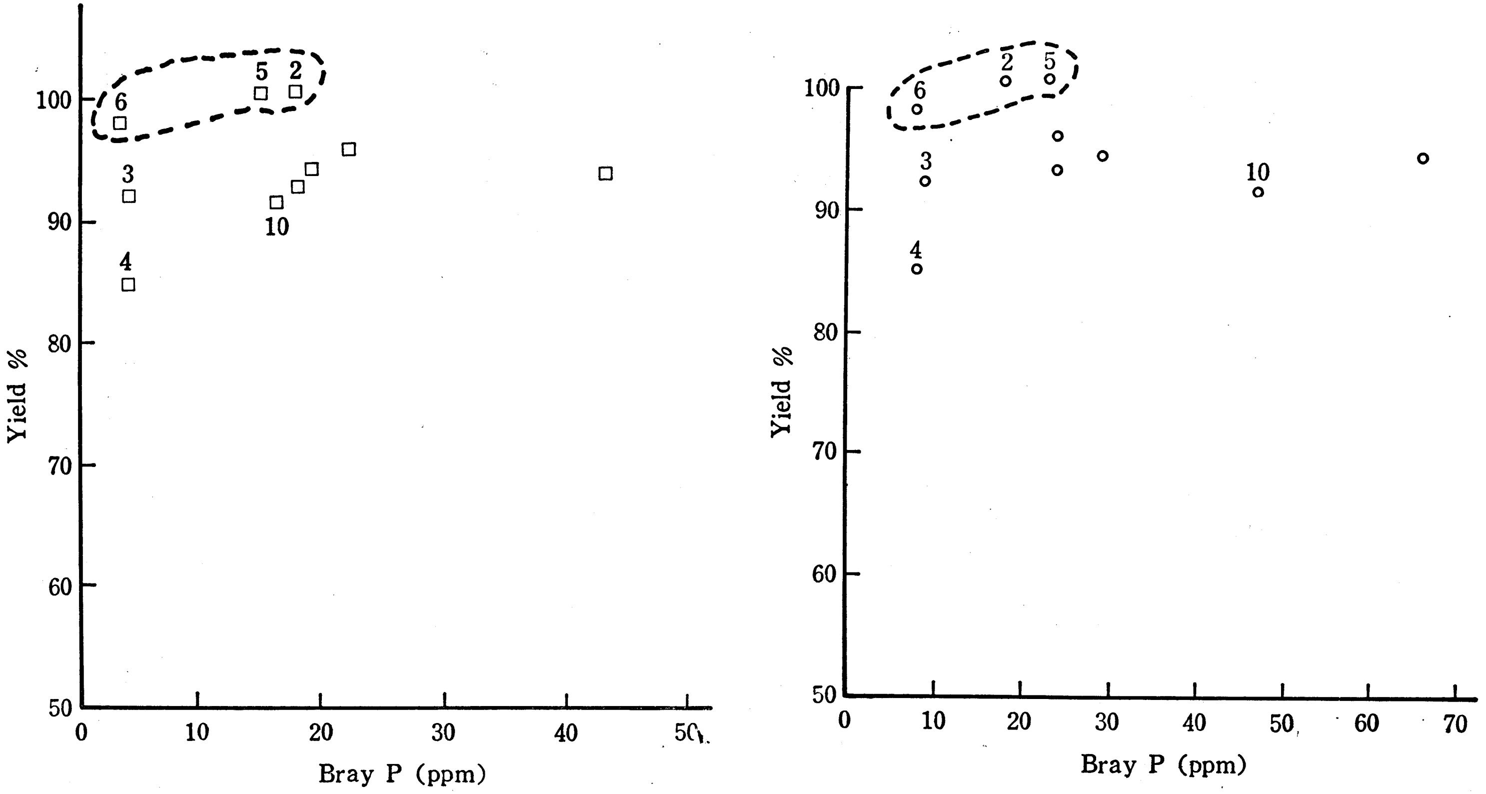

圖1. 土壤有效磷與無磷區玉米產量百分率的關係（75年秋作）

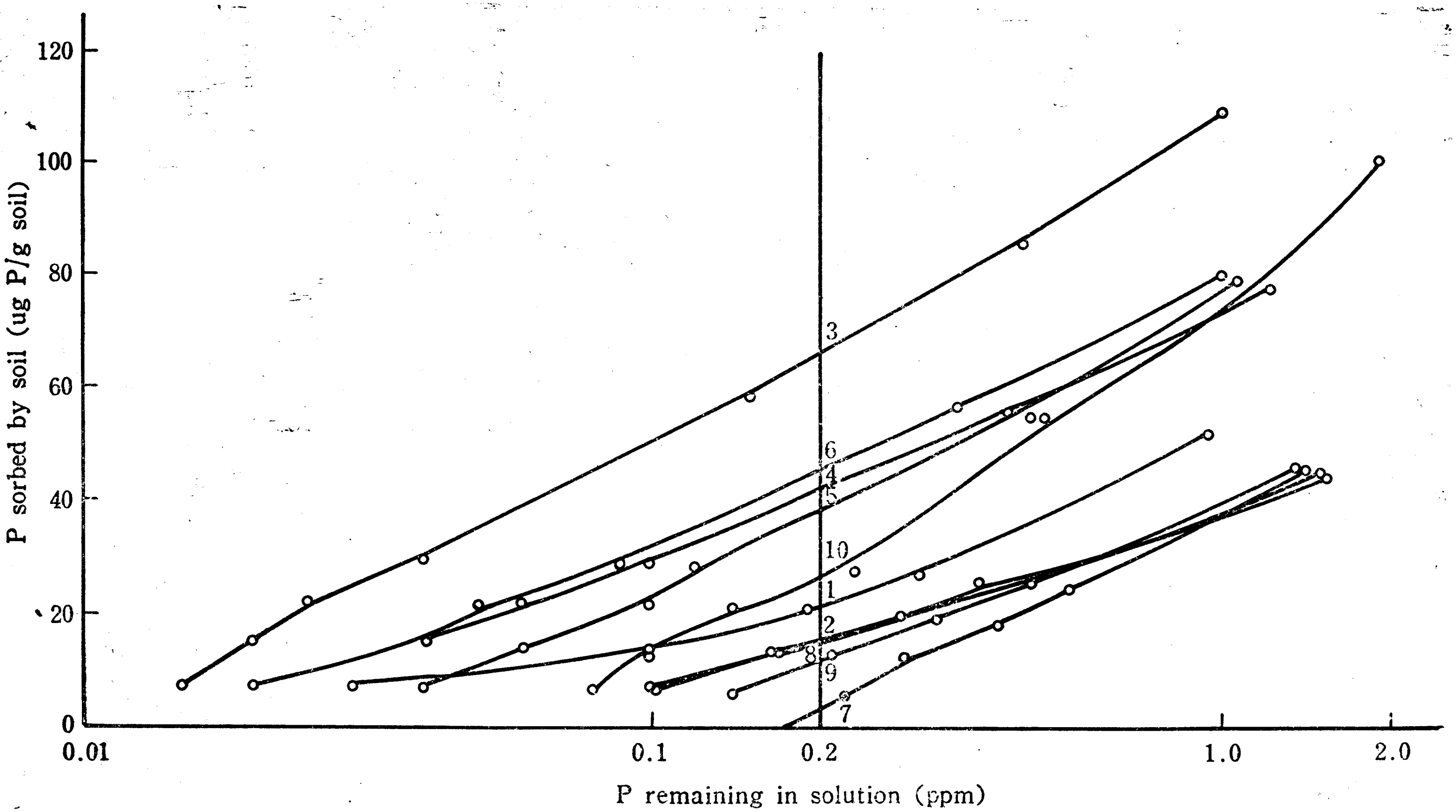

圖2. 試驗田土壤之磷吸附等溫線

圖2顯示如以土壤溶液中 P 的濃度在 0.2ppm P 時計算各土壤的需磷量，則十種土壤所需磷肥如表5所示。

表5. 以 P sorption isotherm 估計之各試驗田需磷量

Soil NO.	ug P/g soil	Kg P/ha
1	21	52.5
2	14.8	37
3	63.5	159
4	38.6	96.5
5	35.4	88.5
6	43	108
7	4.4	11
8	15	37.5
9	10.5	26.3
10	26.8	67

十種土壤需磷高低之次序依次為3＞6＞4＞5＞10＞1＞8，2＞9＞7。若去除轉作已久的2，5及6三處不計，則需磷量應為3＞4＞10。但試驗結果則以4試區磷肥效果最高，10試區次之，3試區列為第三。由土壤性質分析（表2）知第4試區土壤質地較3，10兩處為粗，含砂量為26.2%，遠高於3，10兩處的14.2及16.7，雖然三處土壤中粘土含量並無明顯差別趨勢，但磷肥需要量欲因砂粒含量的高低而相差很多。

以上資料顯示以 P sorption isothem 的方法雖能約略得知不同土壤的磷肥需要量，但必須同時考慮土壤中砂粒含量，如含量相差太多，則無法依 P sorption isotherm 結果比較需磷量。

又圖1 Bray P 與無磷區玉米產量百分率的關係中，試區3，4兩處 Bray P 含量相近，但磷肥效果相差很大，而磷肥效果較大的4試區含砂量較3試區土壤高出甚多。

有關土壤質地與作物磷肥需要量的關係，過去國外已有研究。Kamprath & Watson[10] 曾綜合過去研究資料，發現作物在粗質地土壤 (Fine Sandy Loam) 溶液中所需磷的濃度約3倍於細質地土壤 (Silty Clay Loam) 溶液中者，並指出土壤質地影響磷有效性的原因係由於擴散速率 (Diffusion Rate) 及緩衝能量 (Buffering Capacity) 的不同。砂質土壤擴散速率較粘土壤低，故砂土中需要較高的溶液濃度；又砂土的緩衝能量較低，當作物自土壤中吸收等量磷後，砂土溶液中磷濃降低較多。

作物吸收磷的土壤限制因子為磷的溶解度及其在土壤中的擴散速率。但最理想的磷抽出法所能測出的也只是磷的供給量及溶解度，而無法測出其擴散速率[19]。

(五) 土壤中 $CaCO_3$ 及游離鐵含量與玉米磷肥需要量的關係：

由表2知本試驗之十試區中，$CaCO_3$ 含量在0.591～1.949%之間，含量最高者為第10試區，最低者為非石灰性對照之第1試區。

3號及10號試區在表5的需肥量3號高於10號。兩處之質地組成極為相近，但10試區土壤之 Olsen P（表3）為 47ppm，遠高於第3試區（9ppm），然該試區之肥效却較3試區為大，應是由於此區之 $CaCO_3$, Ex. Ca 及 Fe_2O_3 含量較高之故（表2）。

土壤溶液中 Ca 濃度增加，P 的濃度必降低，已為無容置疑的事實[4,11]，另外有關游離鐵與磷吸附的關係，國外亦有研究報告，Ryan et al. (1985) 證實他所研究之20個黎巴嫩石灰質土壤之 P 吸附是與氧化鐵尤其是無定形鐵有關[16,17]。本試驗結果再度證實此事實。茲將本試驗中十種土壤的 Fe_2O_3 含量與 P adsorption Capacity（表2及3）作直線迴歸，求得之相關係數高達0.8588**（圖3）。

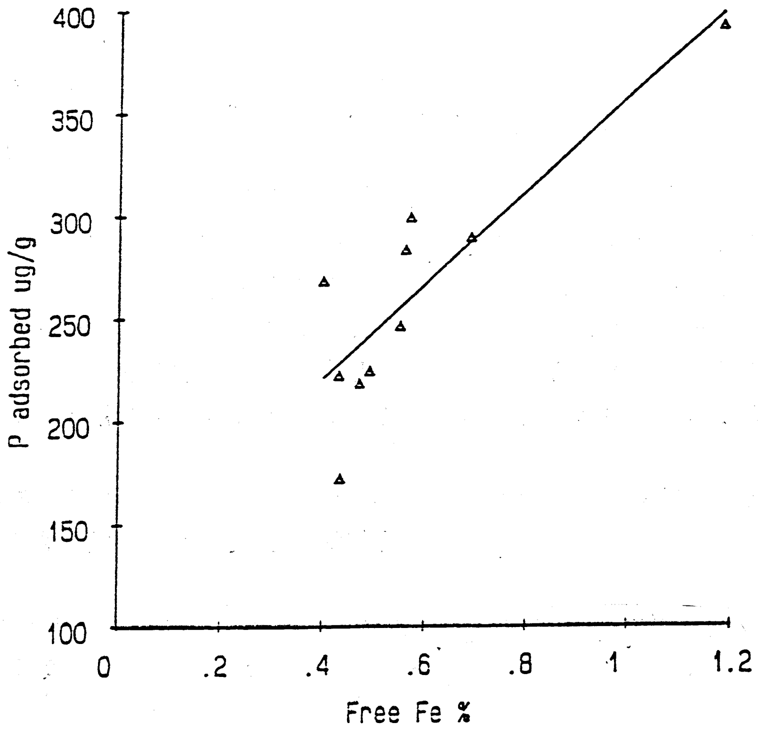

圖3. 土壤中游離鐵含量與磷吸附的關係

Ⅱ、不同質地土壤之磷肥需要性

一、材料與方法

(一) 田間試驗

1. 試驗地點及期作

選中、南部質地不同之土壤（SL–L；SiL；SiC–SiCl）、其有效 P 含量均儘

可能包括高、中及低三種，於76年秋作進行田間試驗（表6）。

表6. 試驗田地點及土壤性質

No.	Location	Soil Dept	PH	O. M. %	CEC (me/100g)	Exechangeable Ca (me/100g)	Exechangeable Mg (me/100g)	Exechangeable K (me/100g)	Avaielbla P Avail. K Bray (ppm)	Avaielbla P Avail. K Olsen (ppm)	Avaielbla P Avail. K Mehl-ich (ppm)	% Sand	% Clay	% Silt	Tex-ture
1	嘉義六腳(1)	A	7.0	2.32	10.17	5.94	5.76	0.65	6	12	199	12.2	27.1	60.6	SiCL
		B	7.1	1.82	11.23	6.25	6.07	0.46	4	11	145	15.6	18.7	65.6	SiL
2	嘉義六腳(2)	A	7.1	1.69	8.40	7.19	4.22	0.03	3	11	54	16.2	18.1	65.6	SiL
		B	7.1	1.66	8.10	7.50	4.22	0.18	4	7	61	16.2	18.1	65.6	SiL
3	嘉義太保	A	6.8	1.86	9.21	8.75	2.58	0.31	44	38	97	26.2	20.1	53.6	SiL
		B	6.8	1.46	9.44	9.07	2.78	0.14	19	20	39	23.2	22.1	54.6	SiL
4	雲林水林(1)	A	6.9	1.98	9.14	10.00	4.94	0.40	12	22	124	10.2	29.1	60.6	SiCL
		B	7.0	2.13	8.95	10.63	3.81	0.37	12	21	118	12.2	28.1	59.6	SiCL
5	雲林水林(2)	A	6.1	1.31	4.17	17.82	3.81	0.27	6	12	90	42.2	17.1	40.6	L
		B	6.8	1.30	4.40	20.00	3.19	0.27	5	12	91	38.2	18.1	43.6	L
6	嘉義鹿草(1)	A	6.8	2.48	12.29	10.63	4.63	0.53	22	27	166	18.2	28.1	53.6	SiCL
		B	6.9	1.78	11.36	12.50	5.14	0.20	5	12	57	20.2	28.1	51.6	C L
7	嘉義義竹	A	6.6	2.28	9.22	10.32	3.91	0.78	15	23	276	42.2	16.1	41.6	L
		B	7.2	2.26	9.05	10.00	3.61	0.29	8	18	114	40.2	16.1	43.6	L
8	嘉義鹿草(2)	A	6.4	2.31	11.26	8.75	3.91	0.37	28	30	111	24.2	20.1	55.6	SiL
		B	6.7	1.62	11.26	10.94	4.94	0.14	7	13	41	22.2	21.1	55.6	SiL

2. 品種：單雜交玉米臺農1號。

3. 處理：五種磷肥處理，即：

（1）P_5：僅施 N、K 肥料。

（2）P_1：除 N、K 外，加施磷肥 50kg P_2O_5/ha。

（3）P_2：除 N、K 外，加施磷肥 100kg P_2O_5/ha。

（4）P_3：除 N、K 外，加施磷肥 200kg P_2O_5/ha。

（5）P ：除 N、K 外，加施磷肥 400kg P_2O_5/ha。

磷肥均以基肥與氮、鉀素基肥同時條施於種子側下約五公分。氮、鉀以50%為追肥，追肥於玉米膝高期時施用。

4. 田間設計：逢機完全區集設計，四重複，小面積 38.5m^2 (7.7×5m) 行株距 70×25cm ，每小區11行。

5. 調查及分析項目：

（1）土壤採樣分析：各試區整地施肥前採取其表土 (0～20cm) 及底土 (20～40cm) 土壤樣本，作各項理化性質分析，包括土壤 pH ，有機質，CEC，交換性 Ca、Mg、K ，有效性 P、K 及質地等。

（2）植物採樣分析：玉米發芽後30～45日採取各試區之玉米植株樣本，吐絲期採取穗葉作葉片分析，收穫後記錄其產量。

(二) 盆栽試驗：

1. 試驗地點與時間：

分別於75年與76年秋，於本所溫室進行試驗。

2. 土　　壤：

（1）75年秋：在中南部與本所農場選質地為 SL；SiL；CL ，含磷量由低至高五處之表土。

（2）76年秋：供試土壤採自前節田間試驗地點土壤之表土，共選土壤六種，質地分粗、中及細，有效磷含量則分屬高分低。

3. 作物品種：玉米臺農1號。

4. 處理：六種磷肥等級即：

（1）P_0：僅施足量 N, K 肥料。

（2）P_1：除 N, K 外，另施 20ppm P。

（3）P_2：除 N, K 外，另施 40ppm P。

（4）P_3：除 N, K 外，另施 80ppm P。

（5）P_4：除 N, K 外，另施 160ppm P。

（6）P_5：除 N, K 外，另施 320ppm P。

各等級重複五次，每盆用土 3.5Kg ，依逢機區集法排列。

表 7. 盆栽實驗土壤採集地點與性質

土壤	採集地點	pH	O. M.	CEC	Ex.			Mehlick's K	Bray P1	Olsen P	Sand	Silt	Clay	Texture
					Ca	Mg	K							
			%	me/100g				ppm			%			
1	本所63號田	5.8	1.69	8.59	5.16	1.41	0.24	68	9	5	28.94	53.70	17.36	SiL
2	烏日	4.7	2.12	8.65	3.79	0.72	0.17	49	44	66	38.94	46.70	14.36	L
3	芬園	3.9	1.31	4.81	1.55	0.42	0.21	63	42	38	69.94	20.70	9.36	S L
4	民雄	4.2	1.12	8.33	2.39	0.40	0.40	89	4	9	17.94	41.19	40.96	SiC
5	學甲	5.9	2.00	10.47	8.17	2.24	0.30	82	28	25	18.94	64.70	16.36	SiL
6	六脚(1)	6.7	2.12	9.64	5.94	5.51	0.66	186	8	11	4.8	71.0	24.0	SiL
7	六脚(2)	7.3	1.54	7.50	7.66	3.92	0.18	53	4	4	14.8	71.0	14.0	SiL
8	水林	7.6	1.24	3.93	25.32	4.28	0.20	61	6	8	36.8	49.0	14.0	L
9	鹿草(1)	7.4	2.29	12.50	13.29	4.95	0.51	134	22	21	24.8	53.0	22.0	SiL
10	鹿草(2)	6.6	2.37	12.14	8.91	4.38	0.48	131	28	25	20.8	59.0	20.0	SiL
11	義竹	7.3	2.33	8.93	13.76	4.22	0.47	108	23	17	38.8	59.0	12.0	L

5. 調查及分析項目：

（1）土壤性質分析：

包括土壤pH，有機質，CEC，交換性 Ca、Mg、K， 有效性鉀，有效性磷（Bray-P 與 Olsen-P）及機械分析等（表7）。

（2）植物分析：

玉米於發芽後30～45日收割，以 75～80°C 烘乾，稱取其重量，磨碎後經乾灰化後，分析其磷含量，以計算磷吸收量。

二、結果與討論

(一) 盆栽試驗：

1. 供試土壤一般性質與有效磷含量（表 7）：

供試土壤之 pH 值範圍在3.9至7.6之間，有機質含量在1.12至2.37之間， CEC 在3.93至12.5me/100g 之間，質地為 SL、SiL 及 SiC。

有效磷含量 Bray 氏與 Olsen 氏之測值接近，兩者之單相關係數 r＝0.911**，已達1％之顯著平準。

2. 磷肥處理對作物收量及磷吸收量之影響：

各土壤在不同磷肥等級處理下，其玉米收量（於發芽後30～45日收割者）及磷吸收量示於表 8，當磷肥處理自 P_0 (0ppm P) 增施為 P_5 (320ppm P) 時，其玉米收量與磷吸收量個別為不施磷者之1.13～3.85倍，及1.32～6.17倍。磷肥對11種土壤皆有增產效果，無磷處理的產量指數在 26.30至87.07之間，其中以4、6號土壤之磷肥效果最高，11號土壤之效果最低。

表 8. 不同磷肥處理之玉米收量及磷吸收量 (30～45日收割)

土壤		處					理	Yo/Ymax
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	×100
1	Yield (g/pot)	30.34	37.76	39.68	42.92	48.31	48.95	61.98
	Uptake (mg/pot)	41.27	52.00	55.10	66.09	100.07	129.71	
2	Yield	34.74	34.20	32.19	36.95	41.67	39.26	83.37
	Uptake	62.86	62.13	62.68	73.63	91.83	112.73	
3	Yield	10.79	19.57	23.65	28.51	32.00	34.58	31.20
	Uptake	26.70	36.88	43.63	46.77	62.60	99.37	
4	Yield	10.66	19.02	23.42	34.39	38.29	40.53	26.30
	Uptake	17.14	32.88	29.39	38.11	53.53	101.05	
5	Yield	44.77	47.41	44.80	44.73	51.53	53.98	82.94
	Uptake	62.13	67.61	70.03	92.25	92.34	141.68	
6	Yield	10.73	25.41	25.90	28.18	37.03	40.40	26.56
	Uptake	19.74	36.18	41.17	46.09	66.76	79.29	
7	Yield	14.73	24.70	31.39	37.87	39.66	44.81	32.87
	Uptake	18.43	30.55	46.66	52.94	65.80	113.68	
8	Yield	10.12	14.72	13.92	20.34	18.66	25.58	39.56
	Uptake	18.46	25.62	26.14	45.75	50.85	69.75	
9	Yield	28.48	33.22	36.97	42.75	39.52	39.47	66.62
	Uptake	53.84	61.05	59.73	71.25	71.98	99.62	
10	Yield	30.14	31.28	38.36	40.80	40.35	46.58	64.71
	Uptake	45.63	49.03	56.98	64.36	74.83	109.22	
11	Yield	34.08	32.92	33.90	35.36	37.32	39.14	87.07
	Uptake	55.88	59.91	61.32	60.92	72.23	75.52	

3. 土壤性質與玉米收量及磷吸收量之關係（表9）：

將土壤性質中可能與作物磷吸收量有關的若干性質與磷吸量及產量百分率作單相關迴歸分析，結果顯示土壤性質中，僅有機質與玉米磷吸收量及產量之關係達5%顯著平準，Bray P 玉米吸收量的關係亦達5%顯著程度，其他土壤性質與磷吸收量的關係皆不顯著。

表9. 土壤性質與玉米產量及磷吸收量之關係

土 壤 性 質	Pupake	Y%
pH	0.024	0.158
O. M.	0.731*	0.699*
Bray P	0.650*	0.526
Olsen P	0.572	0.452
Silt	0.106	0.190
Clay	− 0.310	− 0.363
Sand	0.120	0.099

根據國外資料[7.15]，一般土壤 Olsen P 含量在 10～15ppm 時，施磷已多無增產效果，根據連氏[2] 所測土壤之 Olsen P 及 Bray P 之臨界值各 20ppm 左右，雖然土壤分析資料（表7）顯示2、3、5、9、10及11號等六個土壤，其 Bray P 與 Olsen P 含量皆高於上述臨界值，施磷肥仍然有增產效果。

又2號與3號土壤兩者的 Bray P 測值極相近（表7），然二者的磷肥效果差異很大（表8），另外5號與10號土壤亦有此趨勢，由土壤分析資料（表7）知2號土壤之含砂量（38.94%）低於3號土壤（69.94%）甚多，二者質地分屬 L 及 SL。按國外研究[10] 作物吸收磷素主要靠擴散作用，不同質地的土壤需要不同的磷溶液濃度以維持某一特定作物的磷的吸收率。Olsen & Watanabe[13] 發現磷吸收是磷之擴散係數及緩衝能量的函數。砂質土壤中擴散速率較粘質土壤低，故砂土中需要較高的溶液濃度；又砂土的緩衝能量較低，當作物自土壤中吸收等量磷後，砂土溶液中磷濃度降低較多。2號及3號土壤的產量百分率（Yo/Ymax×100）個別為 83.4 及 31.2，顯然的3號土壤的磷肥效果遠大於2號土壤，與 Kamprath & Watson[10] 所述吻合。

（二）田間試驗：

1. 各試區玉米產量及無磷區產量指數（表10）：

各試區無磷區玉米產量平均為 3439kg/ha, P 處理（施用 400kg P_2O_5/ha 的平均產量為 3708kg/ha，增產量平均率為7.8%。產量百分率之範圍在96.57～86.15%之間，其中磷肥增產量在10%以上則有1、2 3及7號試區共四處。

2. 土壤性質與磷肥效果之關係：

各試區土壤 pH 值在6.1～7.10之間，有機質含量自1.31～2.48%，有效 P 含量

之範圍 Bray P 測值為 3～44ppm, Olsen P 係 11～38ppm。謹將土壤有效磷含量與玉米產量百分率作單相關迴歸分析，結果無論是 Bray P 或是 Olsen P ，其與玉米產量百分率之相關係數皆不顯著（圖 4）。

由圖 4 中，1 試區與 5 試區土壤，兩者有效 P 含量雖然相等，然二者磷肥效果差異很大，1 試區增產效果 （Yield %=80.09） 大於 5 試區。按 Kamprath & Watson[10] 所述，粗質地土壤比細質地土壤需要較高的 P 溶液濃度，又土壤中交換性 Ca 濃度高會加強 P 的吸附，降低 P 的濃度[4,11]，由土壤性質分析（表 6）知 5 試區土壤之 CEC低（僅 4.17me/100g），交換性 Ca 含量很高（17.82me/100g），並且含砂量高（42%），以上分析資料顯示高砂含量與高交換性 Ca 含量係 5 試區肥效較低之原因。

另該區 4 與 7 的有效 P 含量亦近似，但 7 試區的 P 肥效果則大於 4 試區（圖 4），反觀二試區 pH，CEC 及交換性 Ca 含量皆很接近，然 7 試區之含砂量（42.2%）遠大於 4 試區，此結果與 Kamprath & Watson[10] 所述吻合。

3 試區係轉作旱田兩年以上土壤，其有效 P 含量，Bray P 為44ppm, Olsen P 為 38ppm，而玉米產量百分率為86.61，顯示施磷仍然有增產效果，很可能為採樣時採到施肥點之故。

表10. 各試區玉米產量 (kg/ha) （76年秋作）

編 號	P0	P1	P2	P3	P4	P0/Pmax. ×100
1	3,055	3,335	3,355	3,409	3,429	80.09
2	3,588	4,033	3,998	4,039	4,130	86.15
3	3,026	3,297	3,299	3,295	3,494	86.61
4	3,083	3,173	3,209	3,206	3,309	93.17
5	3,239	3,359	3,099	3,361	3,337	96.37
6	3,493	3,453	3,560	3,617	3,570	96.57
7	3,798	4,028	4,199	4,253	4,229	89.30
8	4,256	3,935	4,439	4,365	4,169	95.88

參考文獻：

1. 李子純　吳懷國　陳桂暖 (1986) 石灰質土壤聚積磷素之有效性研究。中華農業研究35（3）：335～349。
2. 連　深 (1986) 轉作田玉米肥料需要量與土壤肥力之關係。中華農業研究35（3）：318～334。
3. Adepoju, A. Y., P. F. Pratt, snf S. V. Mattigod. 1982. Availability and ext-ractability of phosphorus from soils having high residual phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J. 46 : 583—588.

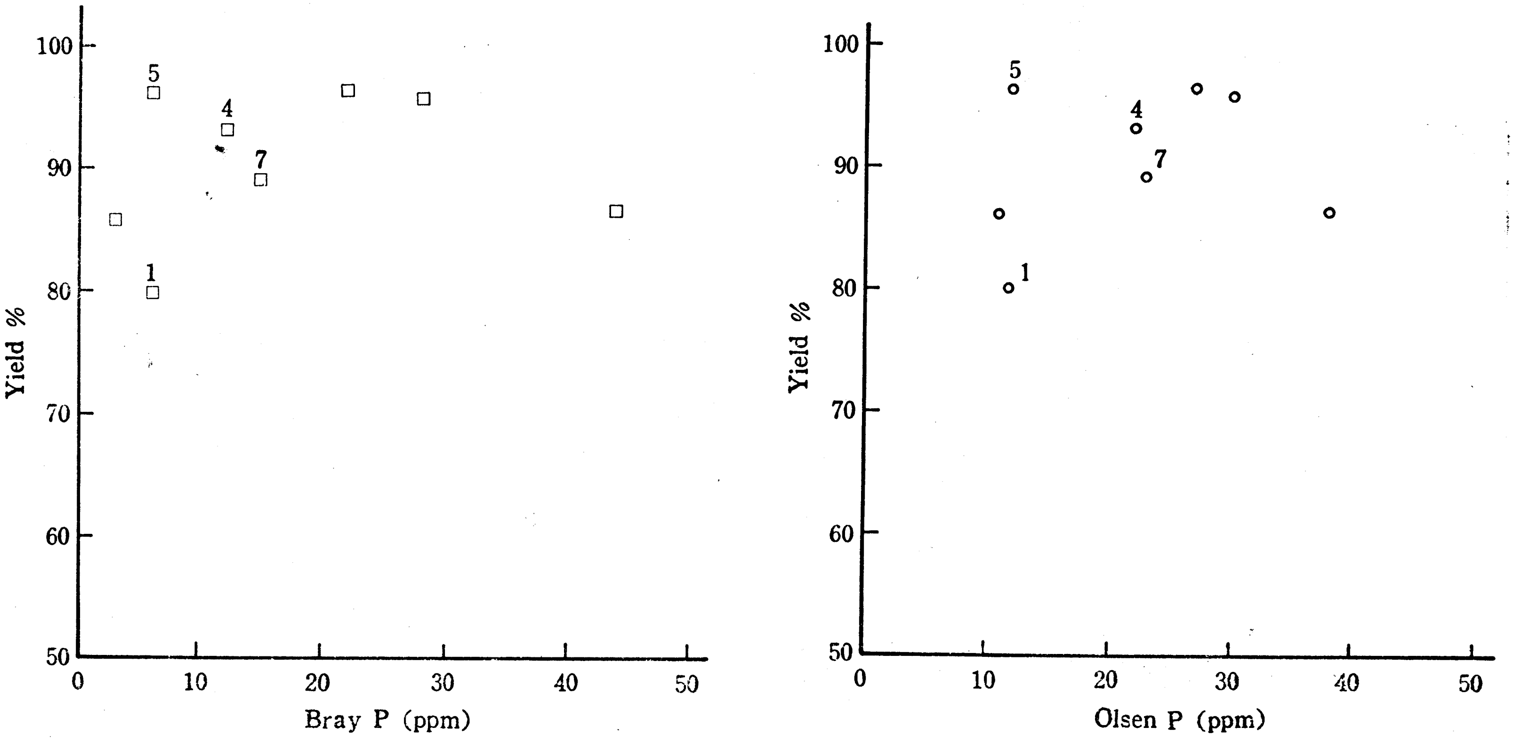

圖4. 土壤有效磷與無磷區玉米產量百分率的關係（76年秋作）

4. Barrow, N. J. Influence of solution concentration of calcium on the absorption of phosphate, sulfate, and molybdate by soils. Soil Sci. 113 : 175—180.
5. Barrow, N. J. 1973. Relationship between a soils ability to adsorb phosphate and the residual effectiveness of superphosphate. Aust. J. Soil Res. 11 : 57—63.
6. Bar-Yosef. B., and B. Akiri. 1978. Sodium bicarbonate extraction to estimate nitrogen, phosphorus and potassium availability in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 42 : 319—323.
7. Bowman, R. R., S. R. Olsen, and F. S. Watanabe. 1978. Greenhouse evaluaaion of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. SSSAJ. 42 : 451—454.
8. Fixen, P. E., and A. E. Ludwick. 1982. Residual available phosphorus in near-neutral and alkaline soils : II. Persistence and quantitative estimation. Soil Sci. Soc. Am. J. 46 : 335—338.
9. Fox, R. L., and E. J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34 : 902—906.
10. Kamprath, E. J., and M. E. Watson. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. Chapter 16 in "The role of phosphorus in agriculture.".
11. Lehr, J. J., and J. E. Van Wesenaek. 1952. The influence of neutral salts on the solubility of soil phosphate, with special reference to the effect of the nitrates of sodium and calcium. J. Soil Sci. 3 : 125—135.
12. Mattingly, G. E. G. 1965. The influence of intensity and capacity factors on the abailability of soil phosphate. Tech. Bull. Minist. Agric. Fish. 13 : 1—9.
13. Olsen, S. R., and F. S. Watanabe. 1963. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27 : 648—653.
14. Peterson, G. W., and R. N. Corey. 1966. A modified Chang & Jackson procedure for routine fractionation of inorganic phosphates. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30 : 363—365.
15. Read, D. W. L., et al. 1973. Residual value of phosphatic fertilizer on chernozemic soils. Can. J. Soil Sci. 53 : 389—398.
16. Ryan, J., D. Curtin, and M. A. Cheema. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48 : 74—76.
17. Ryan, J., H. M. Hasan, M. Bassiri, and H. S. Tabbara. 1985. Availability and transformation of applied phosphorus in calcareous Lebanese soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49 : 1215—1220.

18. Sanchez, P. A., G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. Chapter 17 in 'The role of phosphorus in agriculture'.
19. Thomas, G. W. and D. Peaslee. 1973. Testing soils for phosphorus. Chapter 9 in 'Soil testing and plant analysis'. ed. by Leo, Walsh, and J. D. Beaton. Madison: Soil Sci. of America.